

(첨부서류 2)

## 핵연료의 장전계획에 관한 설명서

## 목 차

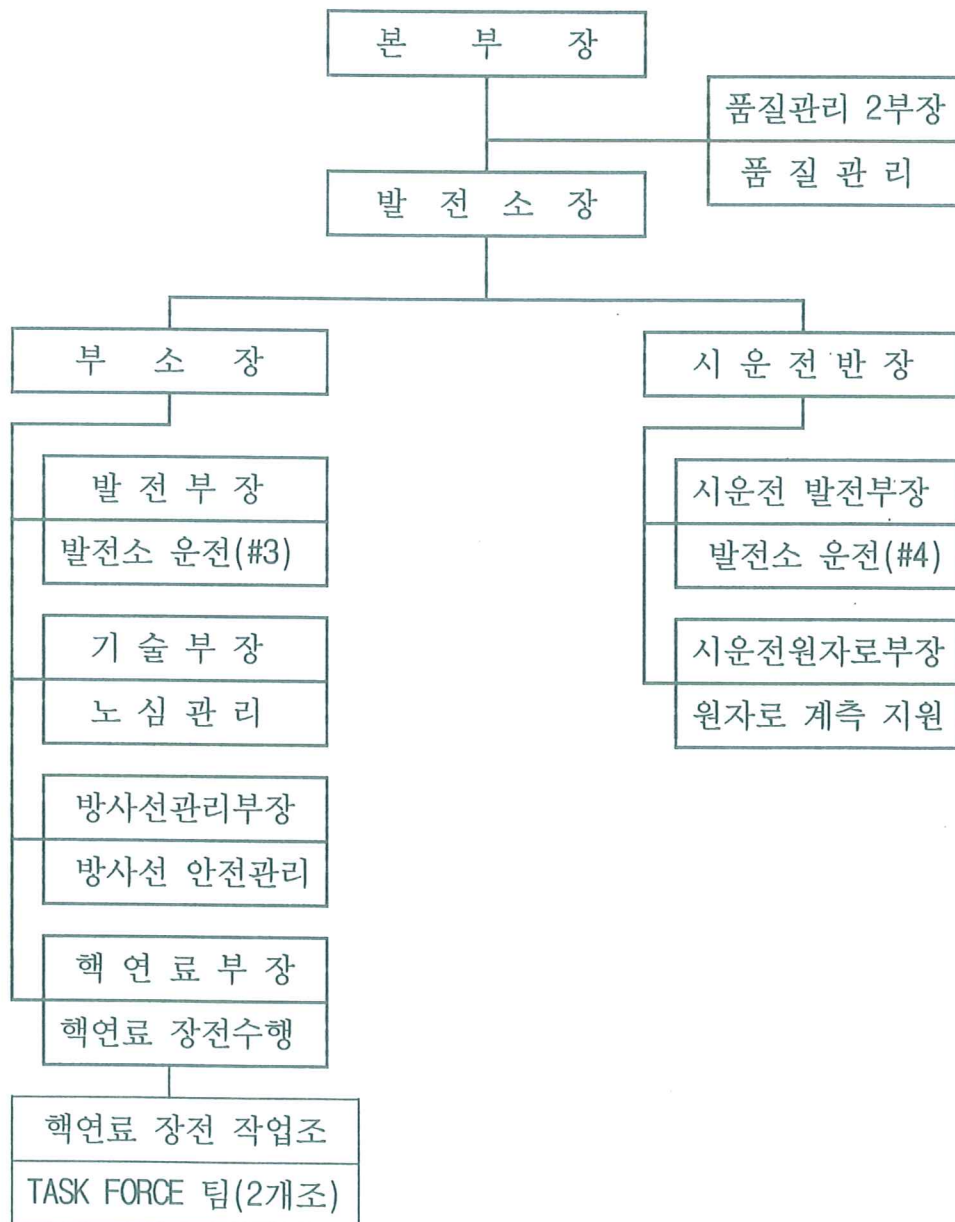
- 1 . 목 적
- 2 . 핵연료 장전 수행조직
- 3 . 교육훈련
- 4 . 핵연료 장전작업 선행조건
- 5 . 핵연료 장전
- 6 . 불 입

## 1. 목 적

본 설명서는 월성원자력 3,4호기 초기노심 핵연료 장전을 안전하고 신속, 정확하게 수행하기 위하여 장전전 갖추어야 할 선행조건, 수행조직, 교육훈련 및 작업 내용 등을 구체적으로 설명하고자 함.

## 2. 핵연료 장전 수행조직

### 가. 조직



## 나. 인원 구성

- 장전원 : 18명
  - 핵연료 검사(2)
  - 기 록 (2)
  - 장전요원 (6)
  - 보조원 (8)
- 핵연료 제어반 운전원 : 2명/근무조
- 감독자 : 3명/근무조 (2 KEPCO, 1 AECL)
- 핵연료 이송원 : 18명
  - FOLK LIFT DRIVER (1)
  - HELPER (2)
  - 기 록 (2)
  - CRANE OPERATOR (2) : (1 S/B, 1 R/B)
  - SIGNAL MAN (2)
  - PALLET TRUCK DRIVER (1)
  - NEW FUEL & PLUG CART DRIVER (8)
- 노물리원 : 1명/근무조
- 계기정비원 : 2명
- 보건물리원 : 3명/근무조
- 지원부서 : 발전부(3호기운전), 시운전발전부(4호기운전), 기술부, 시운전원자로부, 방사선관리부, 품질관리 2부

## 3. 교육훈련

### 가. 핵연료 장전요원에 대한 취급설비 및 장전장비 교육

#### 1) 강 의

- 장비운전 개념
- 공구 소개
- 새연료 취급법
- 새연료 검사
- 기록, 유지

2) 실 습

- 장비 사용방법 및 숙달
- 기록, 점검 (양식 참조)
- 계기 판독법
- 부여된 업무 숙지
- 연료관마개 설치용 공구사용법
- 차폐마개 설치용 공구사용법
- 수동연료 장전기 사용법
- 각종 마개 및 새연료 취급기술

나. 조별 예행연습 실시

다. 방사선 방호 교육

라. 핵연료 장전 업무에 참여할 모든 직원에 대한 핵연료 장전 세부계획 교육

#### 4. 핵연료 장전작업 선행조건

가. 선행조건

- 1) 감속재가 충분한 양의 독물질 (붕소 또는 가돌리늄)을 함유하고 있어야 한다.
- 2) 초기가동에 필요한 계측기의 동작 준비가 되어 있어야 한다. 즉 3개의 BF3 계측기가 원자로 내의 열중성자 계수율을 탐지하여 상당한 열중성자 증가시 제1정지계통을 동작시킬 수 있도록 제1정지계통과 연결되어 있어야 한다. (붙임 1 및 붙임 2 참조)
- 3) 노냉각재 계통을 배수하여 건조시켜야 한다

나. 기타조건

- 1) 관련 계통별 기능시험이 완료되어 있어야 한다
  - 감속재 계통
  - 원자로 반응도 제어계통
  - 냉각재 계통 (PHT)
  - 컴퓨터(DCCX, DCCY)



- SDS #1, #2 계통
  - 원자로 제어계통(RRS)
- 2) 원자로내 핵연료가 장전시부터 원자로 초임계를 위한 운전작업 개시전 까지 정지보증상태를 유지해야 한다.
- 감속재내 붕소농도 21ppm 이상 유지(가돌리움일 경우 약 6ppm 이상)
  - 감속재 정화계통은 주감속재 계통과 분리
  - 중수 공급계통은 감속재 계통과 분리
  - 주감속재 펌프의 모터 전원차단
  - 조절봉 21개 모두 삽입된 상태로 구동모터 전원차단
- 3) 감속재 독물질 농도는 매근무조 마다 1회이상 분석한다
- 4) 핵연료 장전 시작전 계통 상태는 다음과 같아야 한다
- 중수장전 (감속재 계통)
  - 정지계통 #1 이나 #2 계통이 작동될 수 있어야 함
  - 흡수봉(MCA) 및 정지봉(SOR)은 완전 인출상태
  - 액체영역 제어계통은 약 15 %로 유지
  - 원자로 제어계통 (RRS)은 수동정지 모드에 의해 운전
  - 감속재 계통은 PONY MOTOR 를 가동하여 계통순환
- 5) 원자로 건물 출입을 통제하여야 한다
- 6) 핵연료 장전전 필요한 계통 및 설비를 종합적으로 시험하여 초기노심 장전 및 정상운전시 차질이 없도록 설비 및 계기보정을 위하여 각종 기능시험을 수행하기 위한 절차서 및 점검표 (CHECK LIST)가 사전에 작성되어 있어야 한다.
- 7) 다음과 같은 통신설비가 완비되어 있어야 한다.
- PAGING SYSTEM (소내방송)
  - 직통전화
 

MCR ↔ 'A' SIDE	1 대 이상
MCR ↔ 'C' SIDE	1 대 이상
'A' SIDE ↔ 'C' SIDE	1 대 이상
  - HEAD SET ('A' SIDE ↔ 'C' SIDE)

8) 핵연료 장전에 필요한 인원이 조직되고 연료취급에 대한 모든 교육이 완료되어 있어야 한다.

9) 핵연료 취급 설비와 공구가 점검 및 시험이 완료되어 있어야 한다.

#### 다. 준비 사항

##### 1) 소요 장비 및 공구

- PLATFORM 2 개
- 수동연료 장전기 2 개
- 찬넬 배수 및 청소용 공구
- 연료관 마개 설치공구 2 개
- 차폐마개 760 개
- 차폐마개 설치공구 2 개
- 새연료 운반차 6 대
- 차폐마개 운반차 4 대
- 연료관마개 운반차 2 대
- 차폐마개 및 연료관 마개 예비량 적정보유
- 각 380개 적색 및 흑색 END FITTING용 플라스틱 덮개
- 진공 청소기 4 대
- G.I.F TOOLS 2 대
- FORK LIFT TRUCK (2TON) 1 대
- PALLET TRUCK (2TON) 1 대
- PALLET LIFTING ATTACHMENT 1 대
- S/B HALL MAIN & AUX HOIST (15TON) 1 대
- R/B CRANE (15TON) 1 대
- 기타 (86-35200-CP3-001 참조)

##### 2) 절차서 준비

가) 초기 노심 장전 절차서

나) 방사선 관리 절차서

다) 핵연료 취급 절차서

## 5. 핵연료 장전

### 가. 핵연료 이송

- 1) 임시저장 창고로 부터 FORK LIFT TRUCK 을 사용하여 S/B HALL까지 운반한다.
- 2) CRATE 를 해체한다.
- 3) PALLET LIFTING ATTACHMENT 및 S/B HALL CRANE 의 AUX HOIST를 사용하여 EQUIPMENT AIR LOCK 까지 운반한후 PALLET TRUCK에 싣는다.
- 4) PALLET TRUCK 으로 EQUIPMENT AIR LOCK을 통과한다
- 5) R/B 15 TON CRANE 으로 하역한다
- 6) PALLET TRUCK은 F/M TRANSFER GALLERY (R-111)로 이동한다
- 7) R/B 15 TON CRANE과 PALLET LIFTING ATTACHMENT를 사용하여 PALLET을 PALLET TRUCK 에 싣는다.
- 8) PALLET TRUCK으로 F/M MAINTENANCE LOCK 및 콘크리트 차폐문을 통과한다
- 9) 원자로 측면 (SIDE) 당 소요량을 하역한다.

### 나. 핵연료 검사

연료관에 핵연료를 장전하기 전에 다음 사항을 검사한다

- 1) Spacer Pads 가 제위치에서 이탈되어 연료의 뒤틀림이 없어야 한다.
- 2) 용접부분의 파손 또는 용접이 빠졌거나, End Plate가 떨어진 부분이 없어야 한다.
- 3) 손톱으로 긁었을때 느낄만한 깊이의 흠집(Scratch)이 없어야 한다.  
- 허용치는 정밀측정기로 (Electronic depth micro meter) 깊이를 측정했을때 0.038mm이다.
- 4) 연료의 축방향과 단면의 비틀림이 없어야 한다.
- 5) 연료 틈새에 형철조각이나 티끌, 스티로폼 또는 이물질이 끼여 있지 않아야 한다.
- 6) 연료 외경게이지(GO-NO-GO GAUGE)를 사용하여 연료의 Support pads 부위 세곳을 측정하여 최대외경을 확인한다.  
( 연료 외경은  $4.020 + 0.020$  인치를 초과하면 안됨)



## 다. 핵연료 장전

핵연료 장전은 냉각재 계통(PHT)의 HOT CONDITIONING TEST 완료후에 시작되며 상부 및 하부 브리지 PLATFORM을 원자로실 양쪽('A' & 'C' SIDE)에 설치한후 아래 9개의 PHASE로 구분하여 핵연료 장전을 수행하고, 핵연료 장전이 끝난후 PLATFORM을 제거하고, 원자로실(REACTOR VAULT) 청소 및 차폐문을 닫음으로써 장전업무가 끝나게 된다.

PHASE 1 : 기기 요구조건을 포함한 초기점검 및 운전전 점검

PHASE 2 : 양쪽의 연료관 마개 제거 및 냉각재 경수(H<sub>2</sub>O) 배수

PHASE 3 : 연료관에 설치된 STRAINER 차폐마개 제거

PHASE 4 : 채널 및 엔드피팅 검사, 물기 제거 (SWABBING)

PHASE 5 : DOWN STREAM측 엔드피팅에 차폐마개 설치

PHASE 6 : ROW E부터 A까지 그리고 ROW F는 브리지 위에 설치된 TOP PLATFORM을 이용하여 UP STREAM측에서 새연료를 장전

PHASE 7 : ROW G부터 W까지는 HANGING PLATFORM을 이용하여 UP STREAM 측에서 새연료를 장전

PHASE 8 : UP STREAM 측 차폐마개 모두 설치

PHASE 9 : 양쪽의 연료관마개 모두 설치

- 1) 초기 핵연료 장전은 4400개의 천연우라늄(0.72% U<sup>235</sup>)다발이며, 감손우라늄 다발은 그림 #2와 같이 노심내 80개 연료채널에 부분적으로 장전하게 되며, 각 채널의 UPSTREAM 끝에서 부터 8번째와 9번째의 위치에 장전되게 한다.
- 2) 장전 순서는 그림 #3에 나타내었다.
- 3) 핵연료 장전은 2개의 원자로면 ('A' & 'C' SIDE)으로 나누어 양측의 연료장전 브리지에서 각각 연료를 장전한다.
- 4) 처음 장전은 E열에서 시작하고 'A'측은 E4, 'C'측은 E3가 첫번째로 장전된다.
- 5) E열이 장전되면 D열 (D19, D18에서 시작) C열, B열, A열순으로 장전하고 A열이 끝나면 기동용 계측기의 실제 계측 신호와 예상치를 비교하여 이상이 없을시 F열에서 L열까지 차례로 연료를 장전한다.

- 6) 이때도 기동용 계측기 신호를 예상치와 비교하고 다음 M열에서 R열 까지, S열에서 W열까지 핵연료를 장전하여 전체 노심에 대한 핵연료 장전을 완료한다.
- 7) 연료장전시 노심기동용 계측기는 BF3 계측기를 사용하며, 노심 중심선에서 약 200 Cm 상부 (7개 격자거리)에 위치한다.

※ 예상 BF3 계측기 계수율 (양식 #8 참조)

- 1) 냉각재계통에 중수는 충수되지 않았고, 감속재내에 약 21ppm의 붕소농도가 유지되고 있다고 가정하여
  - A열 - E열 장전 (5열) : 70 CPS
  - A열 - L열 장전 (1/2노심) : 152 CPS
  - A열 - R열 장전 (17열) : 157 CPS
  - A열 - W열 장전 (전체노심) : 158 CPS
- 2) 핵연료 장전중 허용되는 최고계수율은 예상되는 최고 계수율의 5배 정도인 800 CPS 이다.
- 3) 실측된 계수율이 예상치와 아주 상이할때는 핵연료 장전을 중지하고 원인을 분석한다.
- 4) 핵연료 장전이 완료되고 냉각재계통에 중수를 채우면 계수율은 약 30%선 까지 떨어지게 될 것으로 예상된다.

라. 초기 핵연료 장전후 시험

핵연료 장전이 완료되면 설치된 연료관 마개의 누설여부를 확인하기 위해 AIR HOLDING 시험 후 냉각재계통에 중수를 채우고 최종 수압시험 및 냉각재계통 성능시험을 실시하며 초임계, 영출력시험, 출력증발시험 및 전출력시험을 수행한 후 상업운전에 임하게 된다.

## 6. 붙임

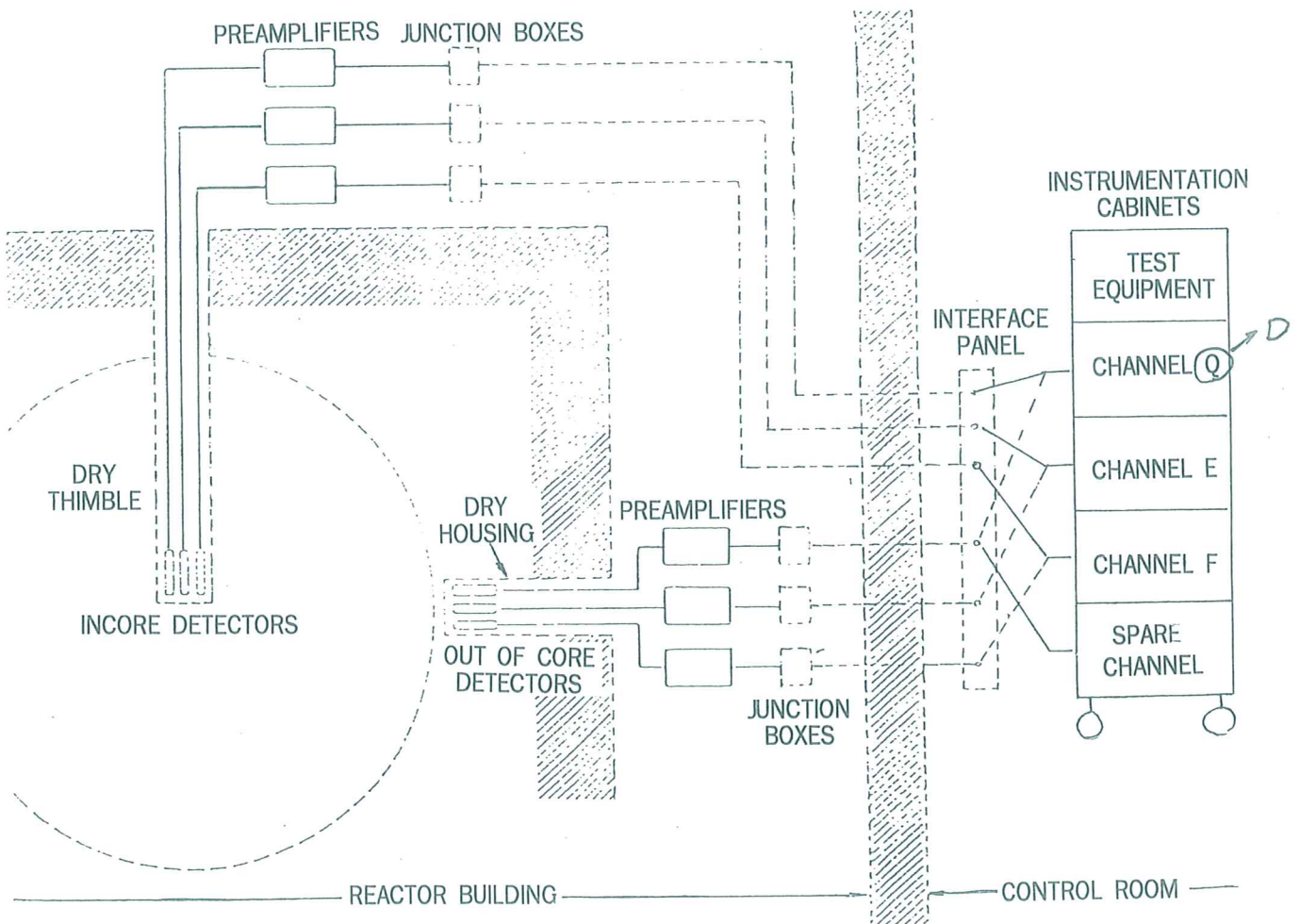
- 붙임 #1 : 임시 기동용 계측기 설치
- 붙임 #2 : 초기 노심 장전시의 원자로 정지계통
- 그림 #1 : STRAINER SHIELD PLUG LOCATIONS
- 그림 #2 : DEPLETED FUEL MAP
- 그림 #3 : FUEL LOADING ORDER
- 양식 #1 : ACCEPTANCE OF FUEL BUNDLES PRIOR TO LOADING
- 양식 #2 : INITIAL FUEL LOADING RECORD SHEET
- 양식 #3 : CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG REMOVAL CHECK LIST
- 양식 #4 : CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG INSTALLATION
- 양식 #5 : CHANNEL CLOSURE INSTALLED DIMENSIONS
- 양식 #6 : REJECT CHANNEL CLOSURES SHEET
- 양식 #7-1, #7-2 : FUEL CHANNEL HISTORY ('A' & 'C' SIDE)
- 양식 #8 : COUNT RATE CHECK LIST



붙임 # 1

## 임시 기동 계측기 설치

핵연료가 정상적인 상태에서 장전되는가를 감시하기 위해서 임시 기동용 계측기를 아래 그림과 같이 설치한다.





## 붙임 # 2

초기 노심장전시의 원자로 정지계통

## 1. 기동용 계측기

정지 설정치

HIGH LOG COUNT	최초 100 CPS에서 부터 최고는 실제 계수율의 10배까지
LOW LOG COUNT	최초엔 설정불가, 후에는 100 CPS
LOG RATE	10% / SEC
HIGH VOLTAGE VARIATION	±5% (INTERNALLY PRESET)

## 2. 제1 정지계통

정지 설정치

RATE LOG TRIP	10% / SEC
TEMPORARY LOG N TRIP	$10^3$ FP
ROP TRIP	30% FP

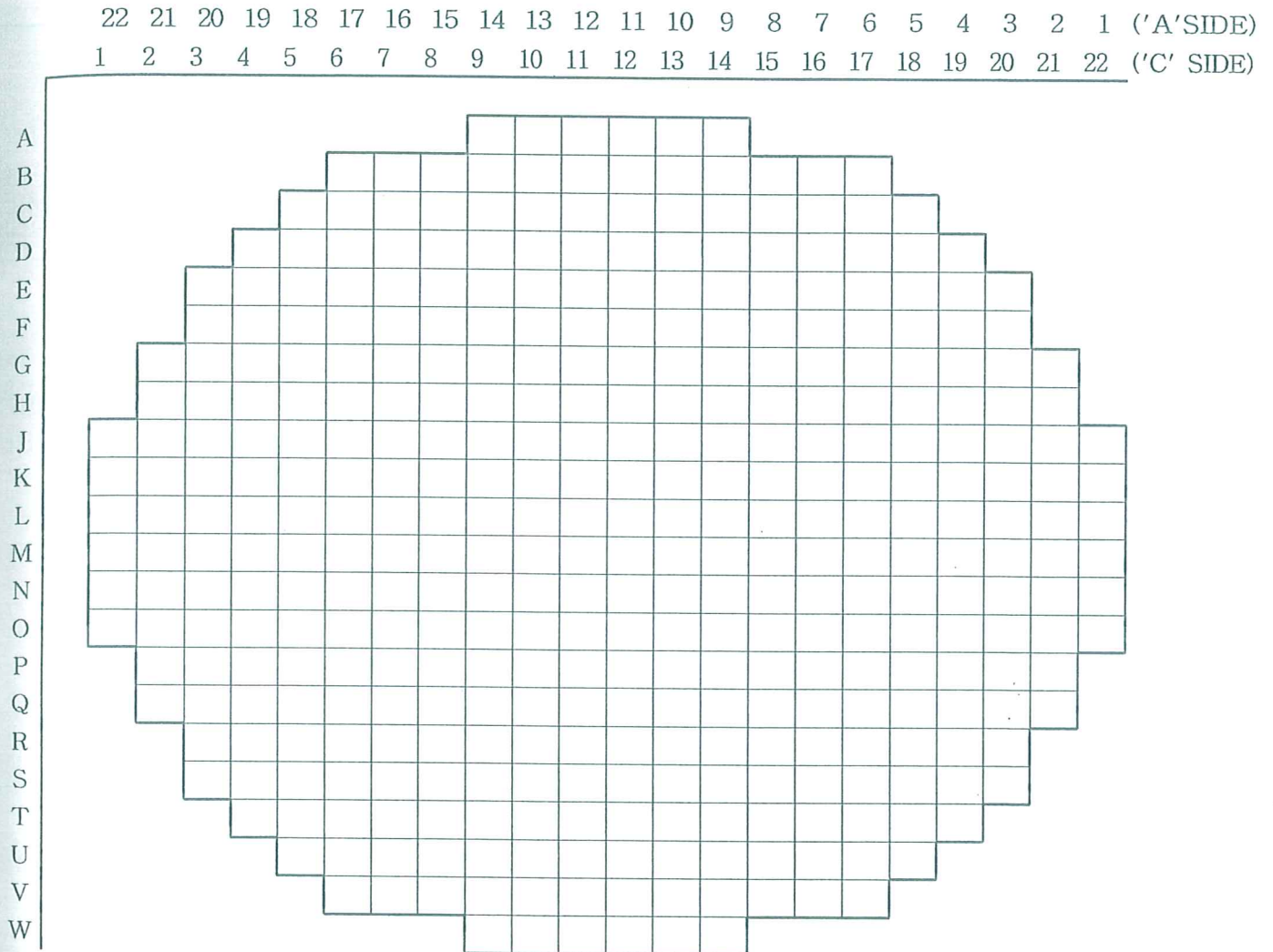
## 3. 제 2정지계통

정지 설정치

RATE LOG TRIP	15% / SEC
TEMPORARY LOG N TRIP	$3 \times 10^3$ FP
ROP TRIP	40% FP

그림 1.

WOLSUNG-3,4 N.P.P  
STRAINER SHIELD PLUG LOCATION



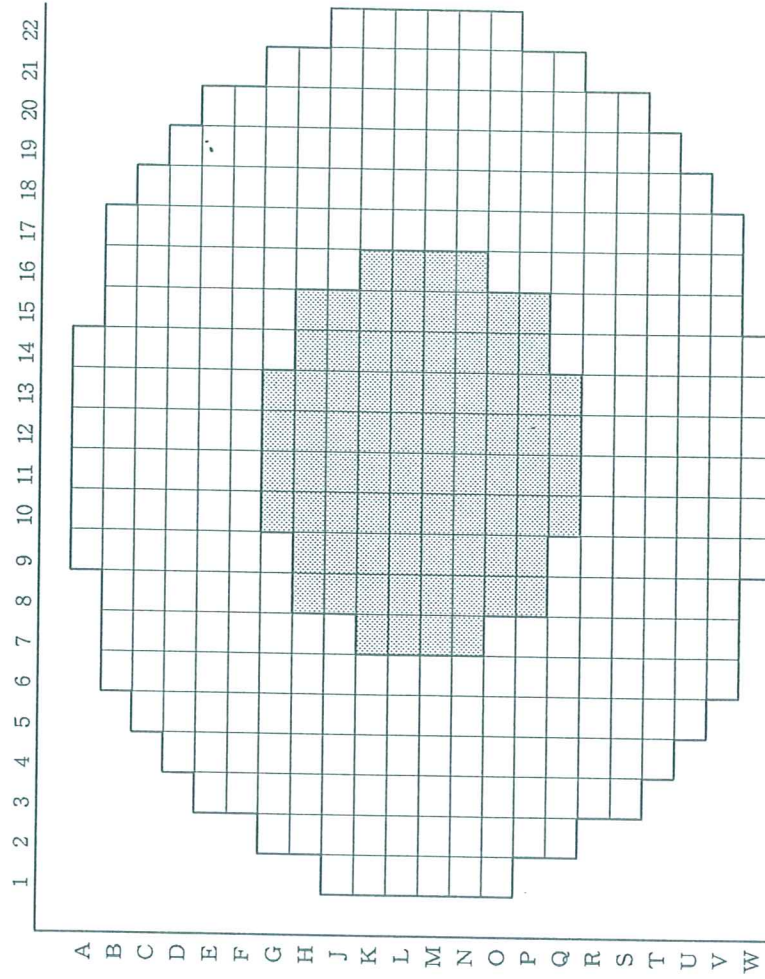
REACTOR LATTICE POSITIONS



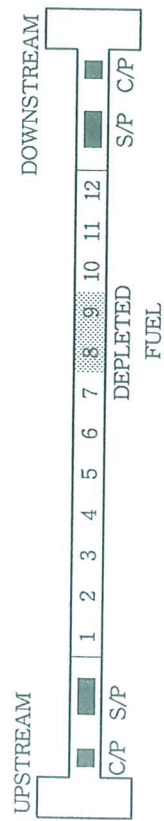
DESIGNATES STRAINER SHIELD PLUG INSTALLATION LOCATION  
(LATER)

그림 2.

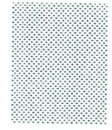
WOLSUNG-34 N.P.P.  
DEPLETED FUEL MAP



( )



DEPLETED FUEL(0.52%  $U^{235}$ )  
IN POSITIONS 8 AND 9(NUMBERED)  
FROM UPSTREAM END OF EACH CHANNEL





24/3.

0.12

[illegible]

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22



WOLSONG-3,4 N.P.P

ACCEPTANCE OF FUEL BUNDLES PRIOR TO LOADING  
(100% VISUAL INSPECTION)

[illegible]

Crate # \_\_\_\_\_

\* Maximum of 36 bundles may be accepted on one record sheet

Inspector : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

양식 #2

WOLSUNG -3,4 N.P.P

INITIAL FUEL LOADING RECORD SHEET

Channel # \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

Loaded from side : ☐ "A", ☐ "C"

Channel Loaded by : \_\_\_\_\_

Depleted Loading

YES	NO

Note in positions 8 and 9

Fuel type required : 원자력연구소 NATURAL  
 " DEPLETED  
 CANADA NATURAL  
 " DEPLETED

TYPE OF FUEL N-NATURAL D-DEPLETED	POS	BUNDLE SERIAL NUMBER	PALLET NUMBER	FINAL VISUAL AND DIAMETER CHECKS COMPLETED	REPLACEMENT BUNDLE PALLET # AND CORRECT SERIAL #	INSERTED BUNDLE SERIAL NUMBER CONFIRMED
N						
N						
N						
N D						
N D						
N						
N						
N						
N						
N						
N						
N						

Bundle 12 loaded first  
and moved downstreamLoaded Number Independently  
checked by a second crew  
member and confirmed.

WOLSUNG - 3,4 N.P.P

CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG REMOVAL CHECK LIST

REACTOR FACE A ☐ C ☐

LATTICE POSITION							
SHIELD PLUG							
SERIAL NUMBER							
CLOSURE PLUG							
SERIAL NUMBER							
TAGGED BY :							
LATTICE POSITIONS							
SHIELD PLUG							
SERIAL NUMBER							
CLOSURE PLUG							
SERIAL NUMBER							
TAGGED BY :							

RECORDED BY : \_\_\_\_\_

DATE : \_\_\_\_\_

WOLSUNG - 3,4 N.P.P

CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG INSTALLATION

REACTOR FACE A ☐ C ☐

LATTICE POSITION	CLOSURE PLUG SERIAL NUMBER	C/P CHECKS COMPLETE	SHIELD PLUG SERIAL NUMBER	S/P CHECKS COMPLETE	C/P OR S/P REJECTION STATE REASON

RECORDED BY : \_\_\_\_\_ CHECKED BY : \_\_\_\_\_ DATE : \_\_\_\_\_



A SIDE ☐  
C SIDE ☐

-47-

[illegible]

WOLSUNG-3,4 N.P.P  
FUEL CHANNEL HISTORY  
(FUELLING FROM 'A' SIDE)

CHANNEL NO. : \_\_\_\_\_ FUELLING METHOD : \_\_\_\_\_ DIRECTION : 'A' (UP) → 'C'

INITIAL FUEL LOAD

'A' SIDE						'C' SIDE					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

STARTED  
TIME & DATE

COMPLETED TIME &  
DATE

(BEFORE  
FUELLING)

CREW \_\_\_\_\_ REACTOR POWER % F.P. \_\_\_\_\_ OUTLET HDR PRESSURE \_\_\_\_\_ CHANNEL ΔP \_\_\_\_\_

TYPE OF FUELLING \_\_\_\_\_ F/H FIRST OPERATOR \_\_\_\_\_ PANNEL OPERATOR \_\_\_\_\_ CHANNEL ΔP \_\_\_\_\_ (AFTER FUELLING)

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

STARTED  
TIME & DATE

COMPLETED TIME &  
DATE

(BEFORE  
FUELLING)

CREW \_\_\_\_\_ REACTOR POWER % F.P. \_\_\_\_\_ OUTLET HDR PRESSURE \_\_\_\_\_ CHANNEL ΔP \_\_\_\_\_

TYPE OF FUELLING \_\_\_\_\_ F/H FIRST OPERATOR \_\_\_\_\_ PANNEL OPERATOR \_\_\_\_\_ CHANNEL ΔP \_\_\_\_\_ (AFTER FUELLING)

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

\* OUTLINE THE DEPLETED FUEL LOCALIONS WITH A YELLOW MARKER FOR INITIAL AND NORMAL FUELLING.

WOLJUNG-3,4 N.P.P  
FUEL CHANNEL HISTORY  
(FUELLING FROM 'C' SIDE)

CHANNEL NO. : \_\_\_\_\_ FUELLING METHOD : \_\_\_\_\_ DIRECTION : 'A' ← 'C' (UP)

INITIAL FUEL LOAD

'A' SIDE						'C' SIDE					
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

STARTED  
TIME & DATE

COMPLETED TIME &  
DATE

CREW \_\_\_\_\_ REACTOR POWER % F.P. \_\_\_\_\_ OUTLET HDR PRESSURE \_\_\_\_\_ CHANNEL  $\Delta$ P \_\_\_\_\_  
(BEFORE FUELLING)

TYPE OF FUELLING \_\_\_\_\_ F/H FIRST OPERATOR \_\_\_\_\_ PANNEL OPERATOR \_\_\_\_\_ CHANNEL  $\Delta$ P \_\_\_\_\_  
(AFTER FUELLING)

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

STARTED  
TIME & DATE

COMPLETED TIME &  
DATE

CREW \_\_\_\_\_ REACTOR POWER % F.P. \_\_\_\_\_ OUTLET HDP PRESSURE \_\_\_\_\_ CHANNEL  $\Delta$ P \_\_\_\_\_  
(BEFORE FUELLING)

TYPE OF FUELLING \_\_\_\_\_ F/H FIRST OPERATOR \_\_\_\_\_ PANNEL OPERATOR \_\_\_\_\_ CHANNEL  $\Delta$ P \_\_\_\_\_  
(AFTER FUELLING)

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

\* OUTLINE THE DEPLETED FUEL LOCALIONS WITH A YELLOW MARKER FOR INITIAL AND NORMAL FUELLING.



양식 #8

WOLSUNG -3,4 N.P.P

COUNT RATE CHECK SHEET

장전순서 (열)	COUNT RATE (CPS)	예상 COUNT RATE (CPS)	비 고
E			
D			
C			
B			
A		70	
F			
G			
H			
J			
K			
L		152	
M			
N			
O			
P			
Q			
R		157	
S			
T			
U			
V			
W		158	